

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2024-35**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Châtillon

Département/Dir./Serv. : DOTA/HRA

Tél. : 01 46 73 47 82

Responsable(s) du stage : Aurélie Montmerle  
Bonnefois

Email. : aurelie.bonnefois@onera.fr

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Analyse de surface d'onde, Optique adaptative, Holographie numérique, Télécommunications optiques en espace libre

Type de stage :  Fin d'études bac+5     Master 2     Bac+2 à bac+4     Autres

**Intitulé : Analyse de champ complexe en fortes perturbations par holographie numérique pour les télécoms laser satellite-sol assistées par optique adaptative**

Sujet :

Alors que la demande mondiale en matière de débits de données et de connectivité se fait toujours croissante, les opérateurs télécom prédisent à court-terme l'engorgement des bandes radiofréquences communément utilisées, et voient dans les communications laser en espace libre une solution clef qui pourrait mener aux télécommunications à très haut débit de demain. Or, malgré leur énorme potentiel, les communications optiques doivent encore surmonter un obstacle de poids pour pouvoir être opérationnelles : l'atmosphère. Cette dernière perturbe en effet fortement la transmission du signal et nécessite de développer des méthodes de compensation de ces effets, dont l'une des plus prometteuses est l'optique adaptative (OA). Cette technique, qui consiste à compenser en temps réel les effets de la turbulence atmosphérique sur le signal optique, est mise en œuvre avec succès par l'ONERA depuis plusieurs années pour cette application pour le compte du CNES [1], de l'ESA [2], de l'Europe [3] et de la DGA, et depuis plus de 40 ans dans le domaine de l'astronomie.

Lorsque la turbulence est particulièrement forte le long de la ligne de visée, par exemple lorsqu'on cherche à établir un lien optique avec un satellite défilant à basse élévation (soit environ 50% de son temps de passage), le champ complexe reçu au sol à partir d'un faisceau laser issu d'un satellite est entaché de fortes fluctuations d'amplitude : c'est le phénomène de scintillation. Dans un système d'OA classique, ces fluctuations perturbent fortement la mesure de front d'onde nécessaire au bon fonctionnement de l'OA, allant jusqu'à la rendre inopérante - il faut donc trouver des solutions pour rendre l'analyse de surface d'onde (ASO) robuste à la scintillation.

Le but du stage est d'étudier l'intérêt de la mesure de front d'onde par holographie numérique pour un lien laser sol-satellite corrigé par OA. En effet, bien que les méthodes interférométriques soient rarement utilisées en OA au profit des analyseurs de Shack-Hartmann ou à pyramide, la robustesse de ces méthodes aux fluctuations d'amplitude alliée à la présence préalable d'un oscillateur local dans les stations-sol pour démoduler le signal télécom amène à réinterroger le potentiel de ce type d'ASO pour cette application bien précise.

En pratique, l'étudiant(e) travaillera à partir de données simulées représentatives d'un lien laser satellite-sol, et modélisera numériquement un ASO par holographie numérique en s'inspirant de méthodes publiées dans la littérature [4]. L'étudiant(e) pourra ainsi évaluer la précision de cette méthode et sa sensibilité au niveau de flux reçu, et évaluer sa faisabilité en terme de complexité système et de compatibilité avec une opération temps réel. Ces travaux devraient permettre de conclure sur le potentiel de la méthode à court terme et ses perspectives à plus long terme.

Ces travaux amèneront l'étudiant(e) à s'intégrer dans une équipe projet d'une dizaine de personnes, bénéficiant ainsi de très fortes interactions au cœur des activités de cette thématique majeure de l'équipe. En particulier, les travaux du stage pourront être mis en perspective de travaux de thèses en cours sur l'OA en présence de fortes perturbations, et de résultats expérimentaux obtenus sur le terrain par l'équipe.

En fonction de la qualité des résultats, une publication dans une revue à comité de lecture au cours du stage est tout à fait possible. Peut-être même une démonstration expérimentale en fin de stage. Une poursuite en thèse sur un sujet connexe au sein de notre équipe est également possible.

- [1] Petit C, Védrenne N., Velluet M.-T., Michau V., Artaud G., Samain E., Toyoshima M., *Investigation on adaptive optics performance from propagation channel characterization with the small optical transponder*, *Opt. Eng.* 0001, 55(11), (2016).
- [2] Bonnefois, Aurélie Montmerle, et al. "Feasibility demonstration of AO pre-compensation for GEO feeder links in a relevant environment." *Optics Express* 30.26 (2022): 47179-47198.
- [3] Horst, Yannik, et al. "Tbit/s line-rate satellite feeder links enabled by coherent modulation and full-adaptive optics." *Light: Science & Applications* 12.1 (2023): 153.
- [4] Thornton, Douglas E., Mark F. Spencer, and Glen P. Perram. "Deep-turbulence wavefront sensing using digital holography in the on-axis phase shifting recording geometry with comparisons to the self-referencing interferometer." *Applied Optics* 58.5 (2019): A179-A189.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? **Non**

**Méthodes à mettre en oeuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique                | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée     | <input type="checkbox"/> Travail de documentation        |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : **Oui**

**Durée du stage :** Minimum : 5 mois Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : mars-septembre 2024

### PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :  
Optique, modélisation

Ecoles ou établissements souhaités :  
Ecole d'ingénieur ou master 2 avec spécialisation en optique